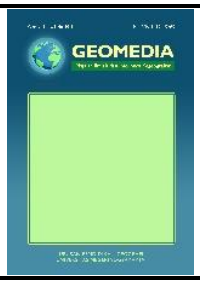


Geomedia

Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian

Geomedia Vol. 22 No. 1 Tahun 2024 | 1 – 13

https://journal.uny.ac.id/index.php/geomedia/index

Kajian dan prediksi perubahan tutupan lahan menggunakan Cellular Automata-Markov Chain di Kota Unaaha

Septianto Aldiansyah [a, 1*], Supriatna [a, 2]

[a] Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
[1] septianto.aldiansyah@ui.ac.id; [2]ysupri@sci.ui.ac.id
*korespondensi penulis

Informasi artikel

Sejarah artikel
Diterima : 29 Juli 2022
Revisi : 20 Februari 2023
Dipublikasikan : 3 Juni 2024

Kata kunci:
Cellular Automata Markov Chain
Kota Unaaha
Tutupan Lahan

A B S T R A K

Kota Unaaha memiliki letak yang strategis karena berada di jalan lintas provinsi, pusat kegiatan ekonomi, hingga industri. Pertumbuhan ekonomi cukup pesat dibanding wilayah lain di Kabupaten Konawe sehingga dapat menyebabkan konversi lahan dimasa depan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan di Kota Unaaha dari tahun 2006-2021 dan memprediksi tutupan lahan pada tahun 2036. Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah *Cellular Automata Markov Chain* untuk memprediksi perubahan tutupan lahan tahun 2036. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis tutupan lahan permukiman dan daerah pertanian meningkat, sedangkan perairan, lahan terbuka dan daerah bervegetasi mengalami penurunan. Pada tahun 2036, kawasan permukiman dan pertanian akan bertambah masing-masing hingga seluas 1.279,42 ha dan 1.074,14. Perubahan ini sejalan dengan rencana tata ruang Kota Unaaha sebagai Kota Agropolitan khususnya pada tutupan lahan daerah pertanian, namun cenderung menyimpang pada kawasan permukiman. Perencanaan tata ruang perlu untuk ditindaklanjuti agar kota dapat lebih berkelanjutan di masa depan.

Keywords:

Cellular Automata Markov Chain
Unaaha City
Land Cover

A B S T R A C T

The city of Unaaha has strategic location because it is on a cross-provincial road, economic center activity to industry. Economic growth is quite rapid compared to other areas in Konawe Regency so that it can lead to land conversion in the future. This study aims to analyze land cover changes in Unaaha City from 2006-2021 and predict land cover in 2036. The method applied in this study is *Cellular Automata Markov Chain* to predict land cover changes in 2036. The type of land cover settlements and agricultural areas continued to increase, while water, open land and vegetated areas decreased. In 2036, settlement and agricultural areas will increase to 1,279.42 ha and 1,074.14 ha. This change is in line with spatial plan of Unaaha City as an Agropolitan City, especially in agricultural land cover, but tends to deviate in settlement areas. Spatial planning needs to be followed up so that the city can be more sustainable in the future.

© 2018 (Septianto Aldiansyah). All Right Reserved

Pendahuluan

Peningkatan populasi penduduk merupakan masalah nyata dalam pembangunan berkelanjutan akibat adanya laju urbaninasi yang pesat dan berdampak pada alih fungsi lahan, kerusakan lingkungan dan perubahan iklim (Mwabumba et al., 2022). Perubahan pada lingkungan fisik dan manusia akan mempengaruhi kondisi iklim (Kim et al., 2019; Mwabumba et al., 2022). Menurut Näschen et al. (2019) bahwa faktor fisik dan manusia adalah penyebab terjadinya perubahan tutupan lahan. Perubahan tersebut akan menyebabkan ketidakmampuan sumber daya manusia dalam mengontrol sumber daya alam yang ada secara berkelanjutan (Zheng et al., 2015).

Jumlah penduduk dan aktivitas manusia selalu meningkat secara beriringan terutama dalam sektor ekonomi (Teklay et al., 2021). Menurut United Nations (2018) bahwa peningkatan populasi merupakan masalah global yang dialami setiap negara, dengan 55% manusia saat ini tinggal di daerah perkotaan atau regional, kemungkinan meningkat sebesar 68% pada tahun 2050. Peningkatan akan kebutuhan lahan (Teklay et al., 2021) atau cenderung tetap (Tan et al., 2022), akan menimbulkan degradasi lingkungan (Balist et al., 2021 ;Tan et al., 2022; Shang & Wu, 2022). Pemanfaatan dan efisiensi tutupan lahan wilayah perkotaan yang terus berkembang harus menciptakan konektivitas antar infrastruktur dalam pembangunan berkelanjutan (Reff).

Kota Unaaha mendapatkan lebih banyak tekanan penduduk dan ekspansi lahan mengingat Kota Unaaha adalah Ibu Kota Kabupaten Konawe dan menjadi sentral kegiatan pemerintahan dan rode perekonomian di jalur lintas utama perdagangan Selatan-Tenggara yang dapat mempengaruhi alih fungsi lahan yang tidak terkendali. Hal ini didukung dengan perkiraan lahan seluas 530.196,41 ha atau 14,44% dari Kabupaten Konawe mencakup Kota Unaaha dapat dikembangkan sebagai kawasan permukiman (Aldiansyah & Wibowo, 2022). Jumlah penduduk Kota Unaaha sebanyak 26.179 Jiwa dengan luas wilayah < 30 km^2 (BPS, 2021) dan relatif kecil ini, dapat memicu alih fungsi lahan (Teklay et al., 2021) yang tidak terkendali di masa depan.

Analisis data spasial menggunakan data spasial masa lalu dan masa sekarang dianggap sebagai salah satu persyaratan dalam studi geografis (Dadras et al., 2015). Cellular Automata-Markov Chain (CA-MC) dikenal sebagai metode pemodelan yang baik karena tingkat keakuratan dalam mensimulasikan dan memprediksi perubahan lahan (Putri & Supriatna, 2021). Pemodelan CA MC sangat baik dalam memodelan perubahan lahan multi-temporal karena kinerjanya yang bersifat dinamis (Mustafa et al., 2021; Palmate et al., 2022), potensial (Tran et al., 2017) dan telah banyak diadopsi oleh peneliti di dunia (Ghosh et al., 2017).

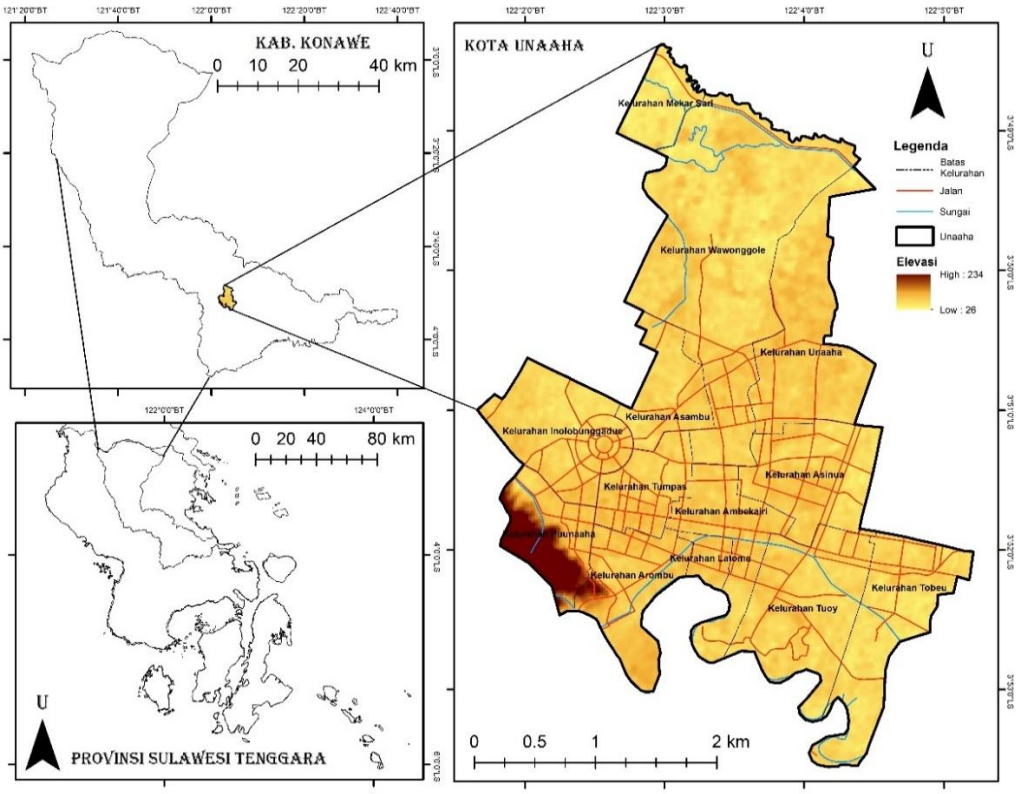
Berdasarkan uraian di atas, penelitian bertujuan untuk mengkaji perubahan tutupan lahan di Kota Unaaha tahun 2006, 2014 dan 2021, serta memprediksi perubahan tutupan lahan tahun 2036 menggunakan metode Cellular Automata Markov Chain.

Metode

Penelitian ini dilakukan di Kota Unaaha yang secara administrasi terletak di Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara. Kota Unaaha secara astronomis terletak pada 3°51'799" LS dan antara 122°02'436" Bujur Timur (Gambar 1). Kota Unaaha memiliki luas total 2.820,81 berdasarkan proyeksi Zona UTM 51S. Wilayah ini terbagi menjadi 13 kelurahan. Secara geografis, sisi Utara berbatasan dengan Kecamatan Anggaberi, sisi Selatan berbatasan dengan Kecamatan Uepai, sebelah timur berbatasan dengan Kecamatan Wawotobi, dan sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Tongauna (Gambar 1).

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan mengintegrasikan teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Cellular Automata-Markov Chain (CA-MC) dengan teknik skoring berdasarkan tingkat pengaruh dari setiap variabel

yang digunakan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan di Kota Unaaha.



Gambar 1. Studi Area, Kota Unaaha

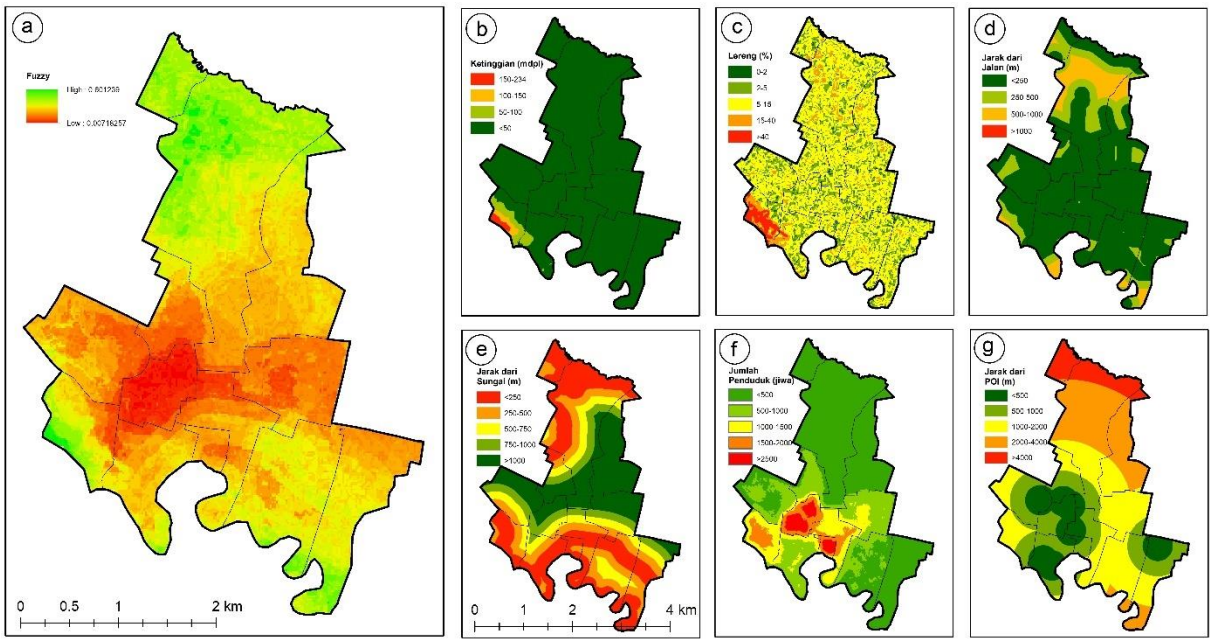
Perangkat lunak ArcMap 10.4.1 digunakan untuk mengolah peta tutupan lahan tahun 2006, 2014, dan 2021. Data tutupan lahan tersebut diperoleh dari platform Google Earth Engine (GEE) yang terdiri dari Citra Landsat 7 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance untuk tahun 2006 dan Landsat 8 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance untuk tahun 2014 dan 2021. Diterapkan sistem *Cloud Removal* (Aldiansyah et al., 2021; Aldiansyah & Saputra, 2022) untuk mendapatkan citra yang bebas dari tutupan awan dan bayangan awan. Hasil pengolahan dari GEE kemudian di ekstrak informasi citranya berdasarkan warna asli (*true colour*) dengan kombinasi Band Red-Green-Blue dari setiap image collection pada data Landsat. Citra Landsat 7 dan 8 kemudian di digitasi untuk mengklasifikasikan tutupan lahan di Kota Unaaha berdasarkan SNI 7465:2010 (Badan Standarisasi Nasional, 2010), yang terdiri dari daerah bervegetasi, perairan, permukiman, lahan terbuka dan daerah pertanian. Data faktor pendorong (*driving factors*) yang digunakan adalah wilayah ketinggian, kemiringan lereng, jarak dari sungai, jarak dari jalan, jumlah penduduk, dan jarak dari Point of Interest (POI) (Gambar 2b-2g)

Faktor pendorong (*driving factors*) berperan dalam mempengaruhi perubahan tutupan lahan pada suatu wilayah dengan tingkat pengaruh yang bervariasi. Data ini diolah pada *software* ArcMap 10.4.1 dengan teknik *fuzzy overlay* (Gambar 2a) dari setiap *driving factors*. Fuzzy adalah *logical system* untuk penalaran kadar kepentingan (Zadeh, 1994) yang sangat baik dalam mendeskripsikan data yang sifatnya berkesinambungan (kontinu) pada metode *Cellular Automata* (Ghosh et al., 2017). Setiap

driving factors di overlay satu sama lain dengan logika *fuzzy gamma*. Gradasi warna pada hasil *fuzzy overlay* dari merah ke hijau memperlihatkan tinggi rendahnya perkembangan suatu lahan. Sedangkan pada gradasi warna hijau ke merah pada faktor pendorong memperlihatkan tingkat pengaruh variabel dalam perubahan lahan. Semakin merah maka tingkat perkembangan lahan semakin rendah dan sebaliknya (Gambar 2a).

Tabel 1. Akuisisi dan Pengolahan Data Faktor Pendorong

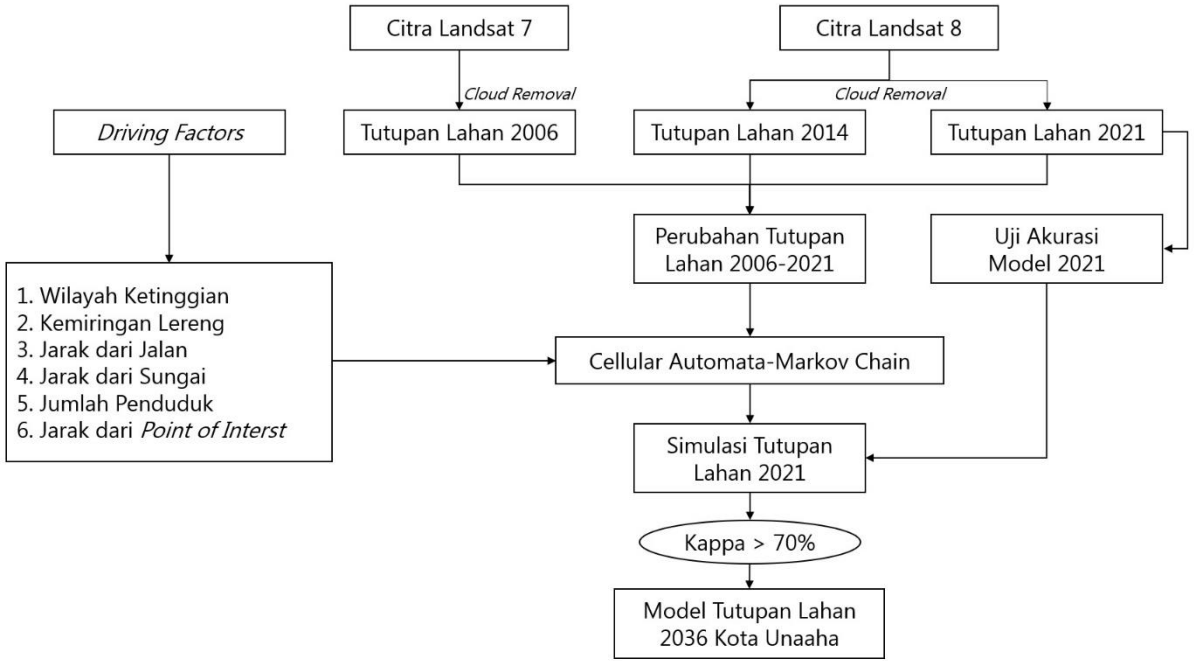
No.	Faktor Pendorong	Data	Akuisisi Data
1	Wilayah Ketinggian	Raster	SRTM (2000)
2	Kemiringan Lereng	Raster	SRTM (2000)
3	Jarak dari Sungai	Vektor	Buffer jarak dari Sungai dengan *Euclidean Distance* berdasarkan survei lapangan (2022)
4	Jarak dari Jalan	Vektor	Buffer jarak dari Jalan dengan *Euclidean Distance* berdasarkan survei lapangan (2022)
5	Jumlah Penduduk	Atribut	Badan Pusat Statistik 2021 diolah dengan Kernel Density
6	Jarak dari POI	Vektor	Buffer jarak dari POI dengan *Euclidean Distance* berdasarkan survei lapangan (2022)
7	Tutupan Lahan	Vektor dan Raster	Digitasi dari hasil interpretasi *Image Collection* 1 dengan *True Colour* Landsat 7 dan Landsat 8 Tier 1 TOA Reflectance dari Google Earth Engine menggunakan algoritma *Cloud Removal* <10% (2006, 2014, 2021).



Gambar 2. a) Faktor Pendorong, b) Wilayah Ketinggian, c) Kemiringan Lereng, d) Jarak dari Jalan, e) Jarak dari Sungai, f) Jumlah Penduduk, g) Jarak dari *Point of Interest* (POI).

Hasil dari model Markov Chain adalah *transilation/probability* area matriks yang merepresentasikan transisi perubahan suatu lahan ke penggunaan lahan lain (Kim et al., 2019). Model ini dibangun dari distribusi tutupan lahan awal dan akhir. Model divalidasi dengan melakukan skenario tutupan lahan tahun 2021 dengan tutupan lahan hasil digitasi dan observasi lapangan 2021 dengan mengacu pada nilai Koefisien Kappa. Model prediksi tutupan lahan dibangun menggunakan *software* Idrisi Selva 17.02 dengan memanfaatkan *tools Land Change Modeller* (LCM).

Model dibangun dari *driving factors* sesuai tingkat kepentingan setiap variabel yang digunakan. Uji akurasi model mengacu pada nilai K-Standard (*Kappa Coefficient*) dengan nilai >70% (valid) agar bisa diteruskan menjadi tutupan lahan dasar dalam membangun model prediksi tutupan lahan tahun 2036. Alur kerja penelitian disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur Kerja

Hasil dan pembahasan

Perkembangan Tutupan Lahan 2006-2021

Perkembangan tutupan lahan di kota Unaaha dari tahun 2006-2021 menunjukkan peningkatan yang bervariasi antar setiap kelas tutupan lahan. Area bervegetasi cenderung terus menurun dengan rata-rata perubahan 1.052,32 ha/15 tahun (Tabel 2 dan Gambar 4). Permukiman terus berkembang mengikut pola linear dan daerah pertanian mengalami peningkatan seiring pembukaan lahan, sedangkan lahan terbuka dan perairan mengalami penurunan. Pola linear ini juga terjadi pada wilayah urban seperti Kota Kendari yang lebih dahulu berkembang (Rahmi et al., 2022). Pertumbuhan jumlah penduduk secara tidak langsung mendorong terjadinya ekspansi dengan cara memanfaatkan atau justru mengorbankan sumber daya alam untuk kebutuhan pangan hingga tempat bermukim (Pimentel et al., 1997). Fenomena ini dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah penduduk di Kota Unaaha yang diikuti dengan pertumbuhan sektor ekonomi yang menyebabkan kebutuhan akan

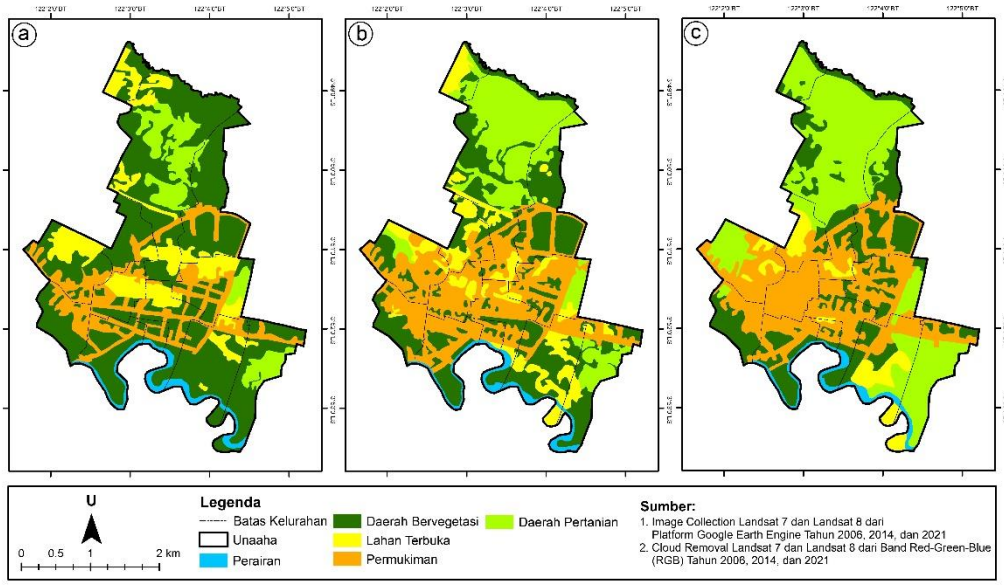
lahan ikut meningkat. Kegiatan unggulan Kota Unaaha juga dijelaskan dalam Strategi Pembangunan Permukiman dan Infrastruktur Perkotaan (SPPIP) Kabupaten Konawe yang berkonsep Kota Pertanian (Agropolitan) seperti sawah irigasi yang didukung oleh keberadaan toko, pasar, kios, rumah makan dan depot (SPPIP, 2012). Tujuan ini untuk mempercepat pertumbuhan perekonomian dengan memanfaatkan siklus barang dan jasa dan roda perputaran ekonomi seiring bertambahnya jumlah penduduk dan wilayah permukiman di Kota Unaaha. Pola perkembangan area terbangun juga cenderung mengikut pola linear.

Informasi dari Tabel 2 memperlihatkan bahwa kawasan permukiman mengalami pertumbuhan hingga 736,78 ha/15 tahun dengan puncak perubahan signifikan terjadi dari tahun 2006-2014. Selanjutnya diikuti oleh daerah pertanian dengan laju peningkatan mencapai 629,18 ha/15 tahun. Lahan terbuka justru mengalami penurunan hingga 316 ha/15 tahun. Jumlah ini sejalan dengan peningkatan daerah pertanian hingga 2 kali lipat. Wilayah perairan mengalami pengurangan luasan seiring waktu. Hal ini dipengaruhi oleh meander sungai dan tinggi rendahnya debit air yang dipengaruhi oleh intensitas curah hujan. Kota Unaaha dilalui oleh Sungai Konaweha yang merupakan bagian dari DAS Konaweha. Perubahan penggunaan lahan hutan menjadi non hutan di DAS Konaweha seperti penurunan debit maksimum dan minimum, selanjutnya mempengaruhi ketersediaan air khususnya distribusi bulanan yang tidak merata, yakni pada musim hujan akan terjadi debit yang berlebihan, sedangkan pada musim kemarau debit aliran sungai minimum rendah sehingga terjadi defisit air (Marwah, 2014). Lebih lanjut Fatmawati (2016) menjelaskan bahwa peningkatan debit sungai selain menyebabkan kerusakan aliran dan perubahan meander sungai, besarnya sedimentasi yang terkandung di aliran sungai juga akan mempengaruhi perubahan kondisi sungai. Faktor tersebut diatas dapat menyebabkan perubahan pada badan sungai.

Tabel 2. Perubahan tutupan lahan Kota Unaaha tahun 2006, 2014, dan 2021.

No	Tutupan Lahan	Luas (ha)			$\bar{x}$
		2006	2014	2021	
1	Daerah Bervegetasi	1.582,28	921,15	653,54	1.052,32
2	Perairan	90,48	85,75	81,22	-85,81
3	Permukiman	460,51	844,29	905,55	736,78
4	Lahan Terbuka	406,91	369,41	173,82	-316,71
5	Daerah Pertanian	280,62	600,22	1.006,69	629,18
	Jumlah		2.820,81		

Keterangan: Nilai Minus (-) menunjukkan terjadinya pengurangan luasan



Gambar 4. Tutupan lahan Kota Unaaha; a) 2006, b) 2014, c) 2021

Skenario Tutupan Lahan tahun 2021

Kemungkinan terjadinya perubahan tutupan lahan di Kota Unaaha disajikan dalam bentuk *Transition Probability Matrix* (TPM) (Tabel 3) yang dinyatakan dalam angka. Angka tersebut mengindikasikan besaran kemungkinan tutupan lahan mengalami perubahan ke tutupan lahan lainnya. Pada TPM memperlihatkan transisi tutupan lahan dari tahun 2006 ke tahun 2021. Nilai 0 pada TPM memperlihatkan tidak terjadinya perubahan pada tutupan lahan yang satu ke tutupan lahan yang lainnya. Nilai 1 menunjukkan bahwa tutupan lahan tersebut akan tetap atau tidak berubah ke tutupan lahan lainnya (tetap/tidak berubah).

Tabel 3. *Transition Probability Matrix* (TPM) tahun 2006-2021

	Daerah Bervegetasi	**Perairan**	**Permukiman**	**Lahan Terbuka**	**Daerah Pertanian**
Daerah Bervegetasi	0.3990	0.0121	0.2331	0.1593	0.1964
Perairan	0.2895	0.6819	0.0087	0.0199	0
Permukiman	0.0668	0.0010	0.8392	0.0930	0
Lahan Terbuka	0.0746	0	0.3980	0.2809	0.2465
Daerah Pertanian	0.1705	0	0.0380	0.0040	0.7875

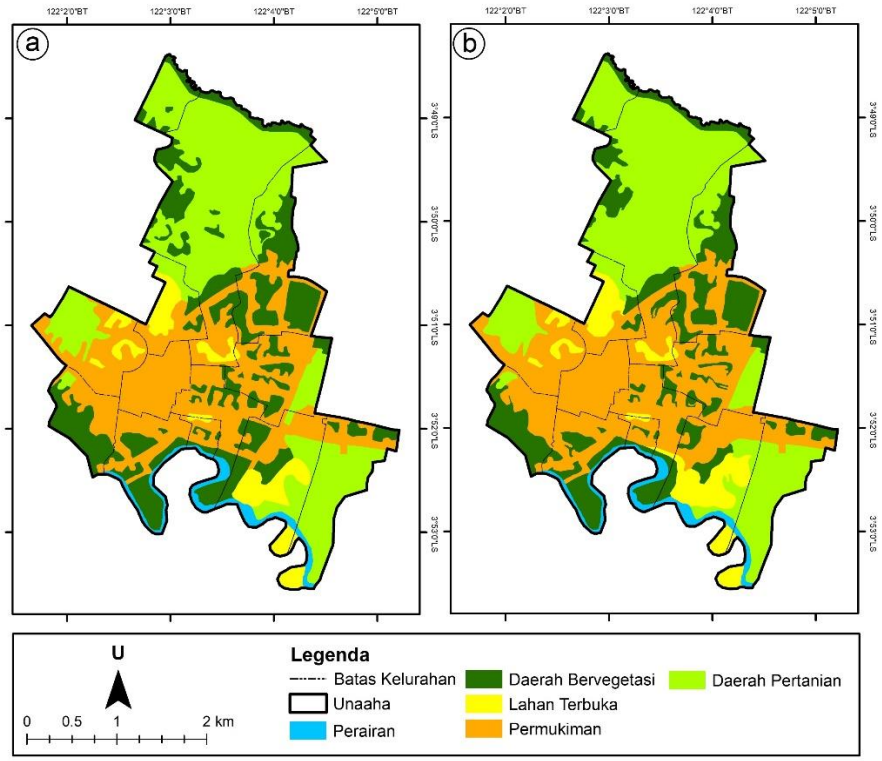
Tutupan lahan terbuka memiliki probabilitas menjadi permukiman dengan nilai TPM sebesar 0.3980, daerah bervegetasi juga memiliki probalitas berubah menjadi permukiman dengan nilai 0.2331, begitu pula dengan lahan pertanian menjadi permukiman sebesar 0.0380. Tidak ada tutupan lahan perairan dan permukiman yang berubah menjadi lahan pertanian. Lahan terbuka dan pertanian juga tidak mengalami perubahan menjadi tutupan lahan perairan.

Perbandingan tutupan lahan eksisting tahun 2021 dan simulasi tahun 2021 dapat dilihat pada Gambar 5. Pada model tutupan lahan 2021, kawasan permukiman memiliki selisih paling besar

yaitu 40,22 ha. Selanjutnya diikuti tutupan lahan berupa lahan terbuka seluas 35,72 ha. Perbedaan luasan tutupan lahan eksisting tahun 2021 dan hasil simulasi tahun 2021 memiliki selish yang tidak jauh berbeda. Selisih tutupan lahan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tutupan lahan eksisting tahun 2021 dan model 2021

Tutupan Lahan	Luas (ha)	
	2021	2021 Model
Daerah Bervegetasi	653,54	579,43
Perairan	81,22	82,35
Permukiman	905,55	945,72
Lahan Terbuka	173,82	209,52
Daerah Pertanian	1.006,69	1003,79
Jumlah	2.820,81	2.820,81



Gambar 5. Tutupan Lahan; a) eksisting tahun 2021 dan b) model 2021.

Hasil uji akurasi memperlihatkan bahwa nilai Kappa (K Standard) yang dapat dicapai oleh model adalah 0,9077 atau 90,77% yang berarti model menunjukkan nilai akurasi sangat baik dan dapat menjadi dasar dalam membangun model tutupan lahan tahun 2036.

Model Prediksi Tutupan Lahan Kota Unaaha tahun 2036

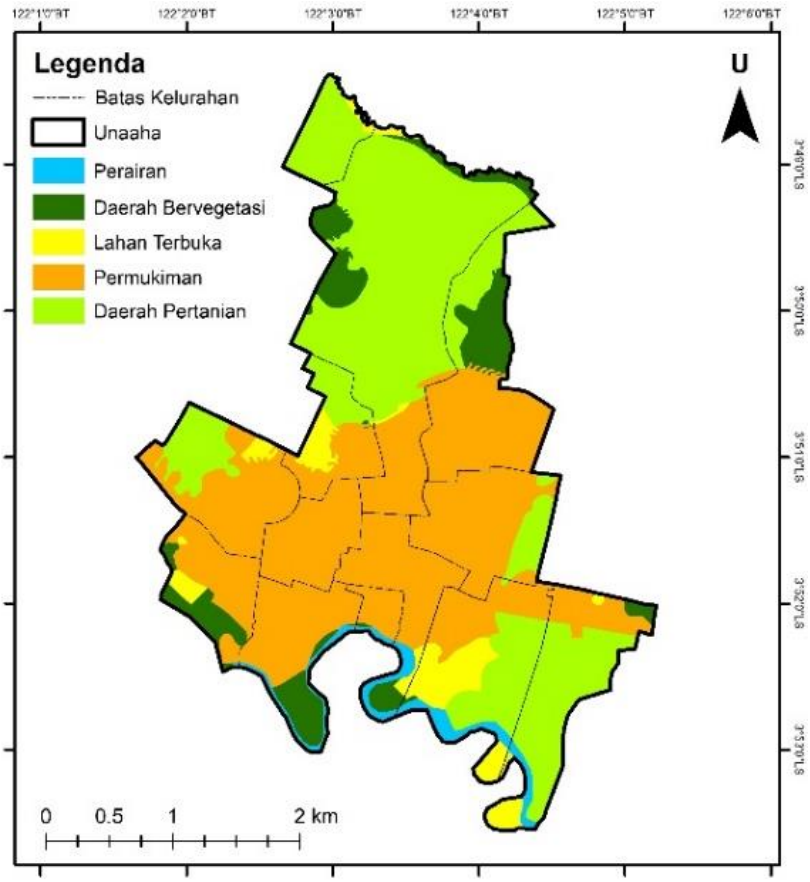
Pemodelan tutupan lahan tahun 2036 menghasilkan nilai TPM yang berbeda dengan tutupan lahan 2021 meskipun dengan rentang yang sama yaitu 15 tahun. Tabel 5 menunjukan nilai TPM dari setiap tutupan lahan. Nilai

probabilitas antara baris dan kolom tertinggi adalah 0.8224. Tutupan lahan yang tidak mengalami perubahan terdapat pada daerah pertanian menjadi lahan terbuka dan perairan yang ditunjukan dengan nilai TMP=0. Probabilitas terkecil yang akan terjadi dari tutupan lahan perairan ke daerah pertanian dan permukiman dengan masing-masing nilai TPM sebesar 0.0014 dan 0.0038. Tutupan lahan permukiman juga memiliki probabilitas kecil untuk berubahan menjadi lahan terbuka dengan nilai TPM=0.0061.

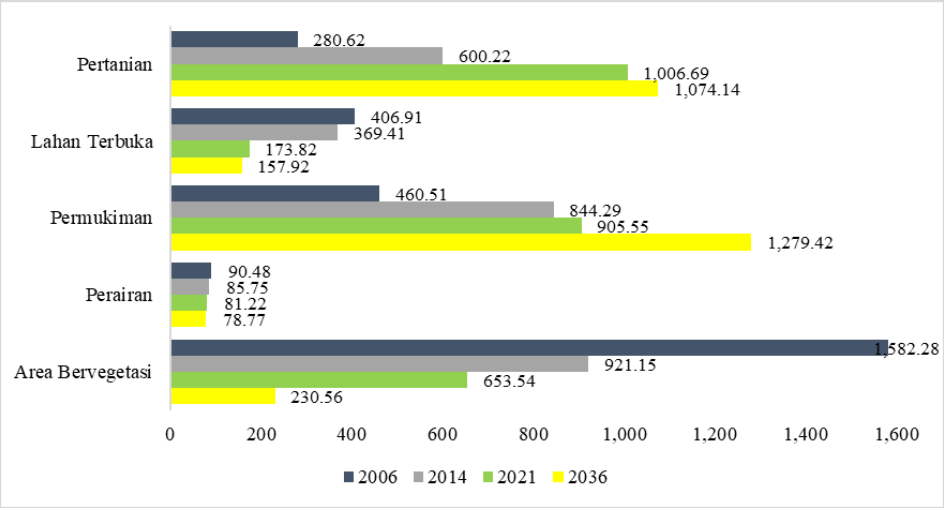
Tabel 5. *Transition Probability Matrix* (TPM) tahun 2021-2036

	Daerah Bervegetasi	**Perairan**	**Permukiman**	**Lahan Terbuka**	**Daerah Pertanian**
Daerah Bervegetasi	0.4151	0.0294	0.0468	0.1088	0.3999
Perairan	0.0937	0.6640	0.0038	0.2371	0.0014
Permukiman	0.1104	0.0015	0.8128	0.0061	0.0693
Lahan Terbuka	0.1496	0.0131	0.1233	0.2071	0.5070
Daerah Pertanian	0.1453	0	0.0324	0	0.8224

Model tutupan lahan 2036 Kota Unaaha didominasi tutupan lahan permukiman dengan luasan 1.279,42 ha atau setara 45,36% dari luas wilayah Kota Unaaha. Selanjutnya diikuti oleh tutupan lahan Daerah Pertanian dengan luasan mencapai 1.074,14 ha atau 38,08% dari luas wilayah. Gambaran spasial tutupan lahan tahun 2036 disajikan pada Gambar 6. Komposisi luasan tutupan lahan 2036 disajikan pada Gambar 7.



Gambar 6. Prediksi Tutupan Lahan tahun 2036 Kota Unaaha.



Gambar 7. Perubahan tutupan lahan tahun 2006-2036 dalam hektar di Kota Unaaha

Secara umum, laju perubahan setiap tutupan lahan tidak mengalami pasang surut dari tahun ke tahun. Tutupan lahan pertanian, permukiman diprediksikan akan terus mengalami peningkatan dengan laju perubahan masing-masing mencapai 740.42 ha/30 tahun dan 872,44 ha/30 tahun. Pada tutupan lahan perairan, lahan terbuka, dan area bervegetasi justru konsisten berkurang dengan rata-rata laju penurunan masing-masing sebesar 84.05 ha, 277.01 ha, dan 846,88 ha dalam 30 tahun. Perubahan ini berjalan searah dengan perubahan tutupan lahan yang terus mengalami peningkatan.

Prediksi tutupan lahan tahun 2036 menunjukkan kesesuaian perkembangan tutupan lahan khususnya daerah pertanian berdasarkan visi dan misi Kota Unaaha untuk menjadi Kota Agropolitan. Namun, terdapat ketidakselarasan pada kawasan permukiman sehingga harus adanya peninjauan rencana pembangunan dan penyelenggaraan penataan ruang Kota Unaaha terhadap tata ruang wilayah saat ini yang cenderung berpusat di tengah kota.

Studi Rumengan et al. (2019) di Kota Manado menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dari kawasan tidak terbangun menjadi kawasan terbangun dapat meningkatkan suhu udara permukaan hingga 48°C. Kasus di Negeria memperlihatkan bahwa terdapat peningkatan kawasan terbangun diperkotaan hingga 19.166,13 ha dari tahun 2002 hingga 2013 yang secara tidak langsung ikut meningkatkan suhu permukaan tanah hingga 6°C (Igun & Williams., 2018). Khandelwal et al. (2018) juga menyatakan bahwa peningkatan suhu permukaan cenderung mengganggu keseimbangan energi iklim seperti fenomena gelombang panas yang dialami 7 negara besar di Eropa, yaitu Inggris 38,1°C, Jerman 41,7°C, Belgia 41,8°C, Prancis, 42,6 °C, Luksemburg 40,8°C, Skotlandia 32,6°C, dan Beland 40,7 °C yang tercatat pada Juli 2019. Faktor seperti kepadatan penduduk dan aktivitas penduduk, kondisi lalu lintas dan kerapatan penutupan kanopi pohon menjadi pengaruh perubahan suhu (Costa & Da, 2015).

Prediksi perkembangan perlu ditindaklanjuti agar tidak menimbulkan permasalahan serius di masa depan mengingat letak Kota Unaaha yang cukup strategis sebagai Ibu Kota Kabupaten Konawe, Kota Transit dan dekat Ibu Kota Provinsi Sulawesi Tenggara.

Simpulan

Tutupan lahan di Kota Unaaha dari tahun 2006-2021 terus mengalami peningkatan khususnya pada tutupan lahan permukiman sebesar 15,78% dan pertanian sebesar 25,74%. Sedangkan tutupan lahan perairan, lahan terbuka dan area bervegetasi terus mengalami penurunan masing-masing 0,33%, 8,26%, dan 32.92%. Pemodelan tutupan lahan 2031 juga menunjukkan perubahan yang konsisten dari tutupan lahan sebelumnya. Peningkatan daerah pertanian cenderung sesuai dalam perencanaan pembangunan dan penyelenggaraan penataan ruang kota untuk menjadi Kota Agropolitan, namun disatu sisi terjadi pertumbuhan kawasan permukiman yang semakin pesat. Peningkatan ini perlu ditindaklanjuti dalam penyusunan tata ruang akan tidak menimbulkan masalah. Informasi ini sangat bermanfaat dan dapat dijadikan sebagai tindakan pertama dalam pengambilan keputusan terkait penataan, pemanfaatan, dan mengoptimalisasi ruang khususnya di Kota Unaaha agar lebih berkelanjutan di masa depan.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Departemen Geografi, Universitas Indonesia yang telah menfasilitasi penelitian ini.

Referensi

Aldiansyah, S., Mandini Mannesa, M., & Supriatna, S. (2021). Monitoring of Vegetation Cover Changes With Geomorphological Forms using Google Earth Engine in Kendari City. *Jurnal Geografi Gea, 21*(2), 159-170. doi:https://doi.org/10.17509/gea.v21i2.37070

Aldiansyah, S., & Adi Wibowo. (2022). Aplikasi Metode Spatial Multi Criteria Analysis untuk Pengembangan Kawasan Permukiman (Studi Kasus: Re-Evaluasi RTRW Provinsi Sulawesi Tenggara). *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL), 6*(2), 136-152. https://doi.org/10.22236/jgel.v6i2.7481

Aldiansyah, S., & Saputra, R. A. (2022). Comparison of Machine Learning Algorithms for Land Use and Land Cover Analysis Using Google Earth Engine (Case Study: Wanggu Watershed). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES), 19*(2), 197-210. http://dx.doi.org/10.30536/j.ijreses.2022.v19.a3803

Badan Pusat Statistik. (2021). Kecamatan Unaaha dalam Angka. Retrivied from https://konawekab.bps.go.id

Balist, J., Malekmohammadi, B., Jafari, H. R., Nohegar, A., & Geneletti, D. (2022). Detecting land use and climate impacts on water yield ecosystem service in arid and semi-arid areas. A study in Sirvan River Basin-Iran. *Applied Water Science, 12*(1), 1-14. DOI: https://doi.org/10.1007/s13201-021-01545-8

Costa, M. C., & Da, Y. (2015). *Studi Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Untuk Prediksi Perubahan Suhu Lingkungan Dengan Memanfaatkan Sig (Studi Kasus: Kota Malang, Jawa Timur)* (Doctoral dissertation, ITN MALANG).

Dadras, M., Shafri, H.Z.M., Ahmad, N., Pradhan, B., & Safarpour, S. (2015). Spatio-temporal analysis of urban growth from remote sensing data in Bandar Abbas City, Iran, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18*(1), 35-52. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.03.005.

Fatmawati, F. (2016). Analisis Sedimentasi Aliran Sungai Batang Sinamar Bagian Tengah Di Kenagarian Koto Tuo Kecamatan Harau Kabupaten Lima Puluh Kota. *Jurnal Geografi, 8*(2), 156-164. DOI: https://doi.org/10.24114/jg.v8i2.5845

Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., ... & Hazra, S. (2017). Application of Cellular automata and

Markov-chain model in geospatial environmental modeling-A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 5*, 64-77. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.01.005

Igun, E., & Williams M. (2018). Impact of urban land cover change on land surface temperature. *Global J. Environ. Sci. Manage, 4*(1),47–58. https://doi.org/10.22034/GJESM.2018.04.01.005.

Khandelwal, S., Goyal, R., Kaul, N., & Mathew, A. (2018). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 21*(1),87–94. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.01.005.

Kim, I., Arnhold, S., Ahn, S., Le, Q. B., Kim, S. J., Park, S. J., & Koellner, T. (2019). Land use change and ecosystem services in mountainous watersheds: Predicting the consequences of environmental policies with cellular automata and hydrological modeling. *Environmental Modelling & Software*, 122, 103982. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.018

Marwah, S. (2014). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan dan Ketersediaan Sumberdaya Air di DAS Konaweha Propinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Agroteknos, 4*(3), 244543.

Mustafa, A., Ebaid, A., Omrani, H., & McPhearson, T. (2021). A multi-objective Markov Chain Monte Carlo cellular automata model: Simulating multi-density urban expansion in NYC. *Computers, Environment and Urban Systems*, 87, 101602., doi:10.1016/j.compenvurbsys.2021.101602.

Mwabumba, M., Yadav, B.K., Rwiza, M.J., Larbi, I. and Twisa, S. (2022). Analysis of land use and land-cover pattern to monitor dynamics of Ngorongoro world heritage site (Tanzania) using hybrid cellular automata-Markov model. *Current Research in Environmental Sustainability* 4:100126. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100126

Näschen, K., Diekkrüger, B., Evers, M., Höllermann, B., Steinbach, S. and Thonfeld, F. (2019). The impact of land use/land cover change (LULCC) on water resources in a tropical catchment in Tanzania under different climate change scenarios. *Sustainability 11*(24):7083, doi:10.3390/su11247083

Palmate, S.S., Wagner, P.D., Fohrer, N. and Pandey, A. (2022). Assessment of uncertainties in modelling land use change with an integrated cellular automata–Markov Chain model. *Environmental Modeling & Assessment, 27*(2):275-293. https://doi.org/10.1007/s10666-021-09804-3

Pimentel, D., Huang, X., Cordova, A., & Pimentel, M. (1997). Impact of population growth on food supplies and environment. *Population and Environment,* 9-14.

Putri, R.A. and Supriatna, S. (2021). Land cover change modeling to identify critical land in the Ciletuh Geopark tourism area, Palabuhanratu, Sukabumi Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Scienc*, 623:012081. doi:10.1088/1755-1315/623/1/012081

Rahmi, K. I. N., Ali, A., Maghribi, A. A., Aldiansyah, S., & Atiqi, R. (2022). Monitoring of land use land cover change using google earth engine in urban area: Kendari city 2000-2021. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 950, No. 1, p. 012081). IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/950/1/012081

Rumengan, S. H., Kumurur, V. A., & Moniaga, I. L. (2019). Persebaran Suhu Permukaan dan

Pemanfaatan Lahan di Kota Manado. SPASIAL, 6(2), 231-239.

Shang, C. and Wu, J. (2022). A legendary landscape in peril: land use and land cover change and environmental impacts in the Wulagai River Basin, Inner Mongolia. *Journal of Environmental Management* 301:113816, doi:10.1016/j.jenvman.2021.113816

Strategi Pembangunan Permukiman dan Infrastruktur Perkotaan (SPPIP). (2012). Retrivied from http:ciptakarya.pu.go.id

Tan, S., Liu, Q. and Han, S. (2022). Spatial-temporal evolution of coupling relationship between land development intensity and resources environment carrying capacity in China. *Journal of Environmental Management* 301:113778. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113778

Teklay, A., Dile, Y.T., Asfaw, D.H., Bayabil, H.K. and Sisay, K. (2021). Impacts of climate and land use change on hydrological response in Gumara Watershed, Ethiopia. *Ecohydrology & Hydrobiology* 21(2). https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.12.001

Tran, D.X., Pla F., Latorre-Carmona P., Myint, S. W., Caetano, M., & Kieu, H. V. (2017). Characterizing the relationship between land use and land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 124*, 119–132. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs. 2017.01.001.

United Nations (2018). 2018 Revision of world urbanization prospects. New York: Department of Economic and Social Affairs.

Zadeh, L.A. (1994). Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. *Communications of the ACM 37*(3):77-84

Zheng, H.W., Shen, G.Q., Wang, H. and Hong, J. (2015). Simulating land use change in urban renewal areas: A case study in Hong Kong. *Habitat International* 46:23-34. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.10.008